

Adaptación de un modelo econométrico Cobb-Douglas para modelar la producción de suelo artificializado (antropizado) en la región metropolitana de Barcelona

Report de recerca N° 5

Jorge Cerda Troncoso

Mayo 2010

Problema de investigación

En el marco de la modelación de la eficiencia ambiental y energética del la funcionalidad territorial de la región metropolitana de Barcelona, se enfrenta la problemática de modelar el consumo de suelo natural, es decir, su transformación a suelo artificializado o antropizado, en función de las actividades que se localizan en el territorio. A priori se podría pensar que mientras más actividades entrópicas se localizan en el territorio, mayor será el suelo artificializado ocupado por estas. Esta aseveración es trivial y poco analítica, en el sentido que no todas las actividades presentan una misma lógica en lo que se refiere a la necesidad de suelo artificializado para su funcionamiento.

Objetivos

Definir y construir las variables tanto de suelo artificializado como de suelo por actividad, para posteriormente calibrar un modelo econométrico del tipo producción.

Metodología

La metodología seguida en este trabajo es la metodología tradicional de construcción y calibración de modelos econométricos, cuyas fases están relativamente consensuadas. Por lo que se presentarán en orden de la secuencia seguida.

Construcción de las variables independientes

La variable independiente, es decir, la variable encargada de explicar el suelo artificializado, en este caso es la superficie construida por actividad registrada en el catastro de bienes inmuebles. El catastro de bienes inmuebles es una base de datos cuyo objetivo es el de cobrar impuesto por construcción. Es en ese sentido que se recoge información de superficie construida para una amplia gama de actividades. A continuación se muestran en la tabla 1 las actividades consideradas en este modelo.

Tabla 1.- categorías de suelo consideradas en el modelo

Residencia	Colectiva
	Unifamiliar
	Rural
Industria	Naves y almacenamiento
	Garajes y aparcamientos
	Servicios de transporte
Oficinas	Edificios exclusivos y mixtos
	Banca y seguros
Comercio	Locales, galerías, y edificio exclusivo
	Mercados y supermercados
Deportivo	
Espectáculo	
Ocio y hostelería	
Sanidad	
Cultural y religioso	Cultural con y sin residencia
	Religioso
Singular	Oficial e histórico
	Especiales

Para cada una de las categorías expuestas en la tabla se contó con información de metros cuadrados construidos de techo. La unidad de análisis fue el municipio.

Al realizar un análisis exploratorio de dicha información, se detectó una alta correlación entre las superficies construidas de las distintas actividades. Esta situación genera un incumplimiento de los principios básicos del modelo econométrico, el que se refiere a la multicolinealidad en las variables. Por este motivo se decidió trabajar no con los valores absolutos de la superficie de techo, sino que con las proporciones por actividad. Y con el fin de tener variables independientes ortogonales (no correlacionadas), es que se aplicó un análisis factorial a dichas proporciones, identificando cinco factores principales. A continuación se muestran los reportes de este procedimiento, y se presentan e interpretan los factores principales obtenidos.

Tabla 2.- Reporte del análisis factorial

Comunalidades	Extracción	Varianza total explicada							
Prop. Vivienda colectiva	0,876	<div>Componente</div>	Autovalores iniciales			Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción			
Prop. Vivienda unifamiliar	0,853		Total	% de la varianza	% acumulado	Total	% de la varianza	% acumulado	
Prop. Vivienda rural	0,590								
Prop. Industrias	0,855		1	3,514	29,282	29,282	3,514	29,282	29,282
Prop. Oficinas	0,690		2	1,962	16,349	45,631	1,962	16,349	45,631
Prop. Comercios	0,793		3	1,233	10,275	55,905	1,233	10,275	55,905
Prop. Deportivos	0,616		4	1,077	8,973	64,879	1,077	8,973	64,879
Prop. Espectáculo	0,834		5	1,016	8,470	73,349	1,016	8,470	73,349
Prop. Ocio y hostelería	0,739		6	,881	7,339	80,688			
Prop. Sanitario	0,590		7	,630	5,254	85,942			
Prop. Cultural y religioso	0,594		8	,576	4,796	90,738			
Prop. Singular	0,772		9	,529	4,405	95,143			
			10	,362	3,018	98,161			
		11	,221	1,839	100,000				
		12	2,316E-16	1,930E-15	100,000				

Método de extracción: Análisis de Componentes principales.

La tabla 2, en su extremo izquierdo, muestra las comunalidades que denotan un alto porcentaje de extracción por parte de los componentes, lo que se ratifica en el porcentaje explicado acumulado de la varianza total (73,35%). Las proporciones de las cuales se pierde mayor porcentaje de información son las de vivienda rural, la superficie sanitaria, y cultural religioso.

La conformación de los cinco factores, y su relación con las proporciones originales se muestran en la tabla 3.

Tabla 3.- Correlaciones parciales entre las variables originales y los componentes obtenidos

Matriz de componentes					
Variable original	Componente				
	1	2	3	4	5
Prop. Vivienda colectiva	,890	,238	-,078	,028	-,142
Prop. Vivienda unifamiliar	-,808	,412	,118	-,126	,012
Prop. Vivienda rural	-,389	-,148	-,169	,605	,151
Prop. Industrias	-,126	-,912	,039	,026	,069
Prop. Oficinas	,580	-,488	,332	-,065	,005
Prop. Comercios	,864	,073	-,170	-,105	-,007
Prop. Deportivos	-,479	,546	,287	-,071	-,041
Prop. Espectáculo	,085	,131	-,295	,185	,830
Prop. Ocio y hostelería	,069	,118	-,597	-,592	,117
Prop. Sanitario	,557	,381	,252	,116	,241
Prop. Cultural y religioso	,511	,397	,149	,374	-,110
Prop. Singular	,068	-,071	,657	-,368	,441

De la tabla se puede interpretar cada uno de los componentes. Es así que:

- Factor 1 (29,2% varianza).- El valor positivo de este factor se asocia a altas proporciones de vivienda colectiva, de comercios, de oficinas, y de uso sanitario y cultural religioso. Mientras que un valor negativo se asocia a alta proporción de vivienda unifamiliar, y de usos deportivo. Es por esto que este factor se puede denominar de estructura **Densa compacta y mixta**.
- Factor 2 (16,3% varianza).- El valor positivo de este factor se asocia a proporciones intermedias de vivienda unifamiliar, y de uso deportivo. Mientras que su valor negativo se asocia fuertemente a una alta proporción de uso industrial, y de oficinas asociadas a ellas. Es por esto que este factor se puede denominar de estructura **Industrial - unifamiliar**.
- Factor 3 (10,3% varianza).- El valor positivo de este factor se asocia a altas proporciones de usos singular. Mientras que un valor negativo se asocia a una alta proporción de uso de ocio y hostelería. Es por esto que este factor se puede denominar de estructura **Singular - ocio**.
- Factor 4 (8,9% varianza).- El valor positivo de este factor se asocia a una alta proporción de vivienda rural. Mientras que un valor negativo se asocia a alta proporción de uso de ocio y hostelería. Es por esto que este factor se puede denominar de estructura **residencia rural - ocio**.
- Factor 5 (8,5% varianza).- El valor positivo de este factor se asocia a altas proporciones de uso de espectáculo y singular, por lo que este factor se puede denominar de estructura **Espectáculo y patrimonio**.

Con este procedimiento se crearon variables independientes no correlacionadas entre sí, que dan cuenta de distintas estructuras de usos, perdiendo la mínima cantidad de información de la base original.

Construcción de la variable dependiente

La variable a explicar en este caso es la superficie de suelo artificializada. Esta superficie surge de un análisis y evaluación crítica de las fuentes de información disponible respecto de las coberturas de uso de suelo. Las fuentes analizadas fueron

- Corine Land Cover (CLC): (Coordination of Information on the Environment) Land Cover
- Proyecto EURMET: productos cartográficos
- El mapa de cubiertas del suelo de Cataluña: Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF)

Los análisis comparativos realizados concluyeron que la base CREAf es la fuentes más adecuadas para realizar los análisis de consumo de suelo, ya que los niveles de desagregación y la escala en las que están han sido desarrolladas permiten obtener una información más completa y precisa del ámbito de estudio. No obstante, para definir las coberturas utilizadas del suelo artificializado fue necesario realizar un proceso de homogenización entre las bases de datos de los tres años que comprenden las coberturas del CREAf, debido a que cada una de ella fue realizada con niveles de desagregación diferente.

El paso siguiente fue diferenciar el suelo artificializado, superponiendo el parcelario de catastro. Así el suelo artificial de la base CREAf se dividió en tres categorías que son; suelo artificial en parcela catastral, suelo artificial entre parcelas catastrales (asimilado a suelo de calles), y suelo artificial sin asociación a parcela catastral.

Tabla 4.- Resultados agregados para la RMB del suelo artificial total, y por tipo

Suelo artificializado	Año		
	1990	2000	2006
Total RMB (Km2)	537,43	641,06	751,75
% en parcela catastral	68	66	63
% en calle	24	23	23
% no asociado a catastro	8	11	14

En la tabla 4 se muestran los resultados de lo antes expuesto, valores que resultan ser coherentes entre sí, pues tradicionalmente se ha trabajado con aproximadamente un 30% de calles en los proyectos de urbanización, porcentaje que es muy cercano a los resultados para los distintos años.

Con esto se obtuvo la variable a explicar por municipio.

Definición de la estructura de modelación

El fenómeno del consumo de suelo natural se puede ver de forma inversa como una producción de suelo artificial. Al ser un modelo de producción, la estructura más general de este tipo de modelo es la que plantea la función de producción de Cobb-Douglas, que es quizás la más utilizada en economía, basada su popularidad en el cumplimiento de las propiedades básicas que se consideran deseables (es la función de producción neoclásica por excelencia).

De manera general, la función de producción es un modelo que se utiliza para analizar la relación entre los insumos empleados en un proceso productivo y el producto final, además describe la tasa a la cual los recursos son transformados en un producto. Se supone además, que la función es continua y univoca, cuya primera y segunda derivadas existen y también son continuas.

La estructura econométrica más tradicional para esta función, considerando un solo factor de producción, está dada por la siguiente ecuación

$$Y_i = \beta_0 * X^\alpha * e^{\mu_i} \quad (1)$$

Donde

Y : producción

X : los insumos considerados en el proceso de producción

β_0 : es un valor que viene determinado parcialmente por las unidades de medida de las variables consideradas (Y,X), y parcialmente por la eficiencia del proceso de producción. Es el factor de transformación del insumo en producto.

α : es el parámetro que representan el cambio porcentual en la producción al variar en uno por ciento la cantidad del insumo considerado

μ_i : error del modelo econométrico

La función de producción de Cobb-Douglas es no lineal en los parámetros, por lo que a través de una transformación logarítmica, se vuelve lineal, por lo que se puede calibrar con mínimos cuadrados ordinarios.

Al utilizar la función de producción de Cobb-Douglas para modelar la producción de suelo artificializado, es necesario previamente conceptualizar todos los componentes propios de la formula general para lograr una coherencia con el fenómeno analizado. Esta búsqueda de coherencia temática origina la siguiente estructura de modelación de suelo artificializado:

$$A_i = e^{(\beta_0 + \sum_k \beta_k * F_{ki})} * T_i^\alpha * e^{\mu_i} \quad (2)$$

Donde

A_i : suelo artificializado “producido” en el municipio i

T_i : suelo de techo total (todas las actividades de catastro) en el municipio i

F_{ki} : componente principal k (1-5) del municipio i (estructura de actividades)

β_0 : término constante

β_k : coeficiente que acompaña a cada componente principal

α : parámetro que representan el cambio porcentual en la producción de suelo artificializado al variar en uno por ciento la cantidad del suelo de techo total.

μ_i : error del modelo econométrico

El factor constante de transformación de insumo en producto del modelo original, se transformo en un término más complejo (ya no constante) que recoge las diferentes estructuras de actividades de cada municipio, a través de los factores principales antes presentados. Es así que el término $e^{(\beta_0 + \sum \beta_k * F_k)}$ se debe interpretar como la tasa de producción de suelo artificial (o consumo de suelo natural) por una unidad de superficie de techo. Así también los coeficientes β_k representan el efecto que tiene cada estructura de actividades en el factor de consumo, el que puede tener cualquier signo.

Finalmente al linealizar la ecuación 2, se genera un modelo log-mixto, lineal en los parámetros, cuya calibración se puede realizar por mínimos cuadrados ordinarios.

Calibración de modelo, análisis de significancia y ajuste

El modelo se calibro en el programa SPSS (pasos sucesivos), con una muestra de 164 municipios, que son los que constituyen la región metropolitana de Barcelona. Se considero información tanto de variables independientes como dependiente para el año 2001.

Resultados

Los resultados que a continuación se presentan son los resultados del proceso de calibración del modelo, y la interpretación que se puede hacer de ellos, desde el punto de vista del fenómeno que se está analizando.

Tabla 5.- Resultados del proceso de calibración del modelo de producción

		Coef	Error típ.	Beta	t	Sig.
	α	1,124	,040	1,226	28,212	,000
Factor principal	β_0	-14,581	,539		-27,056	,000
Densa compacta mixta	β_1	-,525	,052	-,435	-10,067	,000
Industrial - unifamiliar	β_2	,086	,032	,071	2,665	,008
Singular - Ocio	β_3	,079	,032	,065	2,463	,015
Rural residencial - Ocio	β_4					
Espectáculo y patrimonio	β_5					

Resumen del modelo

R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación
,943	,890	,887	,40639

Factor principal	Menor valor (-)	Mayor valor (+)
Densa compacta mixta	Vivienda unifamiliar	Vivienda colectiva, comercio, oficinas, sanitario, cultural
Industrial - unifamiliar	Industria, Oficinas	Deportivo, Viv. Unifamiliar
Singular - Ocio	Ocio y hostelería	Singulares
Rural residencial - Ocio	Ocio y hostelería	Viv. Rural
Espectáculo y patrimonio		Espectáculo, Singulares

En la primera parte de la tabla 5 se muestra el resultado del proceso de calibración del modelo, y el ajuste. En la segunda tabla se vuelven a presentar las características de los componentes principales, con el fin de apoyar la interpretación de los coeficientes.

Lo primero que muestran la tabla es que no todos los factores principales fueron incorporados al modelo definitivo. Los factores rural-ocio, y espectáculo patrimonio no participan en la estructura estadística de explicación del fenómeno del suelo artificializado.

Respecto de la significancia de los coeficientes calibrados, el método de pasos sucesivos genera el mejor modelo desde el punto de vista de lograr coeficientes estadísticamente significativos, maximizando el ajuste del modelo. Por lo anterior se puede concluir que todos los coeficientes finalmente incluidos en el modelo son estadísticamente distintos de cero.

Para comparar los coeficientes entre sí, es necesario analizar el valor de la columna "beta", que corresponde a un coeficiente estandarizado. Haciendo esto, se aprecia la importancia que tiene la variable uso total de techo (y su coeficiente alfa) en la explicación del suelo artificializado (es la de mayor beta absoluto). A esta variable le sigue en importancia (ciertamente menor) el primer componente (de estructura densa compacta mixta). Los componentes industrial-unifamiliar y rural-ocio si bien son significativos, su aporte es significativamente más bajo que los antes nombrados (betas menores de 0,1).

El ajuste del modelo calibrado es significativamente alto, explicando del orden del 89% de la variabilidad total del logaritmo natural del suelo artificializado. Si bien este número es importante, en modelos del tipo log-mixto, o log-log es necesario hacer un post-análisis que consiste en calcular los valores predichos para la variable original, y con estos hacer un análisis de explicación del modelo. Esto aun no se ha realizado en este trabajo, por lo que hay que ser cauto con el tema del ajuste logrado.

Finalmente se pueden interpretar los valores obtenidos.

- Respecto del coeficiente alfa, su valor indica que una variación de un 1% del suelo de techo total en el municipio, origina una variación de un 1,124% en el suelo artificializado, lo que denota el potencial expansivo del suelo de techo, es decir, el suelo de techo requiere más de su magnitud (12% más) para lograr su funcionalidad territorial. Comparando este porcentaje con la razón entre superficie artificializada en parcela catastral versus calle (que generan valores del orden del 35%) se puede entender que existe un umbral de suelo de techo que se debe superar para que se genere una expansión en el suelo artificial (que surge de la diferencia entre 35 y 12%). Esto depende, en parte, por el formato morfológico arquitectónico de la ciudad, y específicamente de las distintas actividades. Es decir, en ciudades densas y compactas (como es el caso de Barcelona) se da esta diferencia, mientras que en ciudades poco densas y extensas los porcentajes se deberían acercar (lo que significa que un metro cuadrado de techo requiere el mismo espacio – de calle- que un metro cuadrado de parcela catastral).
- El coeficiente del componente de estructura densa compacta y mixta tiene un signo negativo, lo que indica que esta dimensión disminuye la magnitud de la tasa de consumo de suelo natural, o mejor dicho tasa de producción del suelo artificializado. Es decir, dicha estructura “contiene” la artificialización del suelo natural. Lo anterior ocurre cuando el componente principal tiene un valor positivo, es decir, cuando son predominantes las viviendas colectivas, los comercios, oficinas, etc., pero cuando el valor es negativo (predominancia de vivienda unifamiliar) la tasa de producción aumenta.
- El coeficiente del componente industrial unifamiliar tiene un signo positivo, por lo que cuando existe predominancia de la vivienda unifamiliar y usos deportivos, la tasa de producción de suelo artificializado aumenta. Mientras que cuando existen predominancia de suelo industrial y de oficinas, la tasa de producción disminuye. Lo expuesto es muy interesante en el sentido que siempre se piensa que la actividad industrial consume mucho suelo, lo que en realidad es así, pero lo que nos indica el modelo es una situación comparativa entre industria y vivienda unifamiliar, por lo que la industria pierde protagonismo frente a los significativos indicadores que está mostrando la vivienda unifamiliar en la explicación del consumo de suelo natural.
- Finalmente el coeficiente del componente actividad singular y ocio también es positivo, lo que indica que a predominancia de suelo singular (patrimonios, recintos militares, equipamientos oficiales, urbanizaciones, etc) la tasa de producción de suelo artificializado aumenta, mientras que a mayor predominancia del ocio y hostelería la tasa disminuye.

Para finalizar es interesante analizar el efecto que genera la vivienda unifamiliar, pues su participación en el modelo es doble, ya que su predominancia afecta tanto el componente de estructura densa y compacta, como el de industria unifamiliar, siempre generando aumentos en la tasa de producción de suelo artificial.

Resultados

Del trabajo se puede concluir que fue posible calibrar el modelo de producción de suelo artificial, el que muestra buen comportamiento econométrico en general, siendo aun necesario calcular un ajuste real des-logaritmizando los valores.

Desde el punto de vista del entendimiento del fenómeno, los resultados son razonables (el hecho que la superficie de techo total sea la variable más importante en la producción de suelo artificial). Pero también se deducen situaciones que a priori no son tan claras en lo que se refiere a la estructura de las actividades.

Finalmente, son las distintas estructuras de las actividades de los municipios las que determinan su comportamiento en la producción de suelo artificializado, pasando de la contención del mismo en estructuras densas compactas y mixtas, a una significativa expansión en base a la vivienda unifamiliar.